

BEST AVAILABLE COPY

Wavelet Image Coding Using Power Adaptive
Vector Quantization

Abstract

As vector generation methods in wavelet transform and vector quantization for image information compression, we adopted all subband type vector generation by which vectors are generated by extracting signals in corresponding positions from all subbands except for the lowest-frequency subband, and layer-specific type vector generation by which vectors are generated by extracting signals in corresponding positions from subbands in the same level, and totally examined optimization of coding including scalar DPCM coding of the lowest-frequency subband. Since one vector corresponds to one pixel block of an original image, we performed vector quantization adaptive to the vector power reflecting the local properties of each block. We examined 256×256 pixels and 512×512 pixels within the range of 0.32 to 0.85 bpp by using two-level wavelet transform. Consequently, the all subband type vector generation required two-stage vector quantization, whereas the layer-specific type vector generation required only one stage. Although the coding characteristics of the two methods are substantially equal, the necessary memory amount and calculation amount of the latter method are smaller than those of

the former method.

論文

ウェーブレット変換画像の電力適応ベクトル量子化法
——全サブバンド形および階層別形——

松村 秀逸[†] 加藤 道明^{††} 江尻 悟^{†††} 橋本 秀雄^{††††}
 武部 幹^{††}

Wavelet Image Coding Using Power Adaptive Vector Quantization

Shuitsu MATSUMURA[†], Michiaki KATO^{††}, Satoru EJIRI^{†††}, Hideo HASHIMOTO^{††††},
 and Tsuyosi TAKEBE^{††}

あらまし 画像の情報圧縮のためのウェーブレット変換・ベクトル量子化法におけるベクトル構成法として、最低周波サブバンドを除く全サブバンドより、対応する位置の信号を取り出してベクトルを構成する全サブバンド形と、同一階層内サブバンドより、対応する位置の信号を取り出してベクトルを構成する階層別形とをとり上げ、最低周波サブバンドのスカラ DPCM 符号化を含め、総合的に符号化の最適化を検討した。一つのベクトルは原画像の 1 画素ブロックに対応するから、各ブロックの局所的性質を反映するベクトルの電力に適応したベクトル量子化を行った。256 × 256, 512 × 512 の画像に対し、2 階層ウェーブレット変換を用いて、0.32 ~ 0.85 bpp の範囲で検討した結果、全サブバンド形は 2 段ベクトル量子化を要するが、階層別形は 1 段でよいことがわかった。両者の符号化特性はほぼ同等であるが、所要メモリ量、計算量は後者が少ない。

キーワード 画像符号化, ウェーブレット変換, 適応ベクトル量子化, フィルタバンク

1. ま え が き

画像圧縮符号化の主なものの中に、直交変換符号化とサブバンド符号化がある。前者の代表的なものである離散コサイン変換 (DCT) 符号化では、画像を $M \times M$ 画素のブロックに分割し、各ブロックに対して DCT を施した後、変換係数の交流成分の電力の大小に適応させて、すなわち画像の空間領域の局所的性質に適応させて変換係数をベクトル量子化することにより、良好な符号化特性が得られることが知られている [1]。しかし、低ビットレートでの DCT 符号化では、ブロックひずみが生ずるという難点がある。

一方サブバンド符号化は、フィルタバンクを用いて、画像全体を周波数平面上で、 M_0 ($M_0 \geq 2$, 整数) 個

のサブバンドに分割し、各サブバンド信号を符号化するので、本質的にこのようなブロックひずみを生じないという利点がある [2], [3]。Westerlink らは画像を $M_0 = M \times M$ ($M \geq 2$, 整数) に等分割する場合について、 $M \times M$ 個のサブバンドを $M \times M$ 次元のベクトル画面と考えると、各サブバンドより同一位置の信号サンプルを 1 個ずつ取り出してベクトルを作り、ベクトル量子化する方法を考え出した [4]。この方法は、サブバンド間の信号サンプルの相関を利用して情報の圧縮を図ったものであり、単一のコードブックを用いてベクトル量子化を行っている。各サブバンドは原画像を走査して、それぞれフィルタバンクに属する $M \times M$ 個のフィルタの内の一つのインパルス応答と畳み込んだ出力であるから、一つのベクトルの各要素は、そのサブバンド内信号位置の座標を縦、横 M 倍した点を左上端とする、原画像の $M \times M$ 画素のブロックに対応し、その左および上隣接ブロックの影響も受けている。

その後画像を周波数領域で $M \times M$ 等分割するよりも、水平・垂直各方向にオクターブ分割、すなわち 2 次元ウェーブレット変換の方がより効率的な分析が

[†] 金沢工業高等専門学校, 石川県
 Kanazawa Technical College, Ishikawa-ken, 921 Japan

^{††} 金沢工業大学, 石川県
 Kanazawa Institute of Technology, Ishikawa-ken, 921 Japan

^{†††} 日本電気株式会社伝送事業本部, 川崎市
 NEC Transmission Operations Unit, Kawasaki-shi, 211 Japan

^{††††} 金沢大学工学部, 石川県
 Faculty of Engineering, Kanazawa University, Ishikawa-ken, 921 Japan

行えることが示された [5]. Antonini らは、ウェーブレット変換して得たサブバンドを階層別・方向別に分けて、サブバンドごとにサブバンド内信号ブロックをベクトル量子化すると、視覚に整合した符号化が得られると主張している [6]. この場合最低周波サブバンドに対してはスカラ量子化を適用している.

上記のこれまでの研究を検討すると、次の諸点に気づく. 第1にサブバンド間の相関を利用するベクトル量子化において、一つのベクトルは原画像の一つの画素ブロックに対応するから、各ブロックのもっている画像の局所的性質に適応するベクトル量子化を行う、すなわちベクトルをその電力によりクラス分けし、クラスごとにコードブックを作ってベクトル量子化すれば、より良い符号化特性が得られるであろう. 第2に最低周波サブバンドを除く全サブバンドからベクトルを構成する方法に対し、階層別にベクトルを構成する方法は、階層ごとに信号の性質に適応させてベクトル量子化できるので、量子化ひずみを小さくできると思われるが、ベクトル数は前者の2倍となるので総合的に比較検討する必要がある.

本論文はこの2点を中心にベクトル量子化法を検討し、 512×512 , 256×256 の静止画像について、 $0.32 \sim 0.85$ bpp のビットレートの範囲において、最低周波サブバンド信号のスカラ量子化も含めて、総合的に最適化を図った結果について報告する. 以下、2.1 でウェーブレット変換について述べ、2.2, 2.3 で本論文で提案するベクトル構成法と、電力適応ベクトル量子化について述べる. 3.1 で全サブバンド形ベクトル構成、3.2 で階層別形ベクトル構成による量子化法の実験を述べ、シミュレーションによる特性評価を行う. 続いて、3.3 で全サブバンド形と階層別形の比較、3.4 で他のベクトル構成法によるベクトル量子化と階層別形ベクトル量子化の比較を述べ、4. でむすびを述べる.

2. 符号化方法

2.1 画像のウェーブレット変換・逆変換

ウェーブレット変換は、2次元分離形分析フィルタバンクを用い階層的に水平、垂直方向にそれぞれオクターブ分割する. すなわち図1に示すように、まず画像を水平方向に走査し、1次元2バンドフィルタバンク $h_0(n)$ と $h_1(n)$ により周波数分割し、出力を2:1で間引きする. 更に、その二つの出力画面を、今度は垂直方向に走査し、再び1次元2バンドフィルタバンクにより周波数分割し、その出力を2:1で間引きし

て、四つのサブバンド画面を得る. これで2次元分離型 2×2 等分割フィルタバンクが構成される. この分割を図3(a)のように低域信号に繰返し適用して、階層的にオクターブ分割する. これらサブバンド画面を L_n , V_n , H_n , D_n と名づける. ここで n は階層番号, L は最低周波, V は垂直方向, H は水平方向, D は対角方向を指す. 2階層ウェーブレット変換した場合のサブバンド画面を図4に示す. 逆変換は図2に示す2次元分離形 2×2 合成フィルタバンクを基本要素とし、これを複数個用いて、図3(b)のように階層的に画像を再構成する. 図2の $g_0(n)$ と $g_1(n)$ は1次元2バンド合成フィルタバンクを構成するフィルタ対である.

本論文では、フィルタバンクの伝達関数として Antonini らの導いた双直交線形位相 FIR フィルタ [6] を用いた. 表1にこのフィルタのインパルス応答係数を

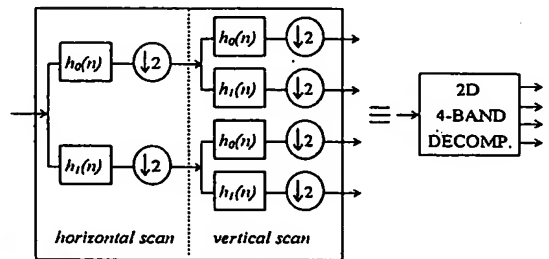


図1 2次元分離形 2×2 分析フィルタバンク
Fig.1 Separable 2D 2×2 subband analysis.

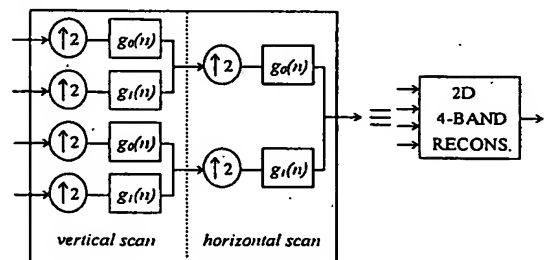
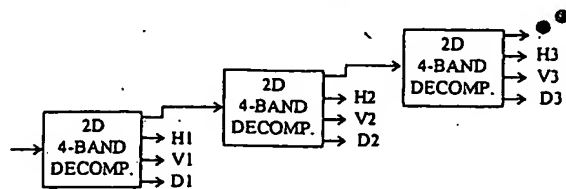


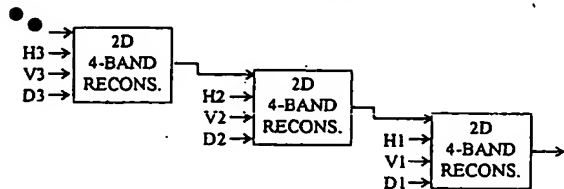
図2 2次元分離形 2×2 合成フィルタバンク
Fig.2 Separable 2D 2×2 subband synthesis.

表1 フィルタのインパルス応答
Table 1 Impulse responses of the filters.

n	$h_0(n)$	$h_1(n)$	$g_0(n)$	$g_1(n)$
-3	0	0	$-3/280$	0.05
-2	-0.05	$-3/280$	$-3/56$	0.25
-1	0.25	$3/56$	$73/280$	-0.6
0	0.6	$73/280$	$17/28$	0.25
+1	0.25	$-17/28$	$73/280$	0.05
+2	-0.05	$73/280$	$-3/56$	0
+3	0	$3/56$	$-3/280$	0
+4	0	$-3/280$	0	0



(a) Transforming circuit.



(b) Inverse transforming circuit.

図3 2次元ウェーブレット変換と逆ウェーブレット変換
Fig.3 2D wavelet transforming circuit & inverse transforming circuit.

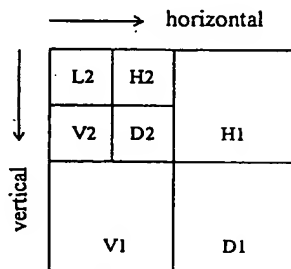


図4 2階層ウェーブレット変換
Fig.4 2-level wavelet transform.

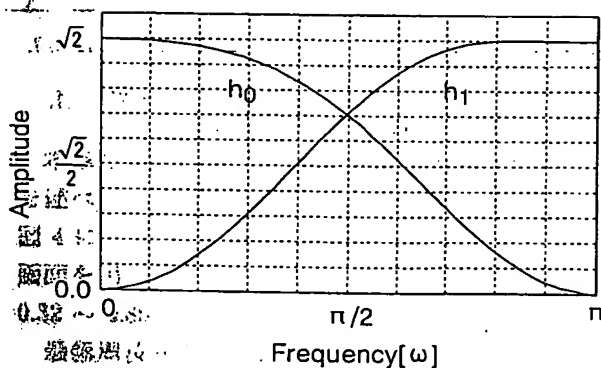


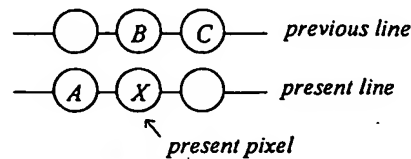
図5 フィルタの周波数応答
Fig.5 Frequency response of filters.

食対称 17

示し、その振幅周波数応答を図5に示す。各サブバンド信号のエネルギーの和が原画像の信号のエネルギーの和と等しくなるようにエネルギー正規化を行うため、各フィルタの通過域振幅値は $\sqrt{2}$ である。

2.2 ベクトル構成法

図4の2階層ウェーブレット変換をした場合、最低周波サブバンド L2 の信号は隣接サンプル間の相関が



$$\hat{X} = 0.5A + 0.25B + 0.25C$$

図6 2次元予測式

Fig.6 Configuration of pixels used for 2D prediction.

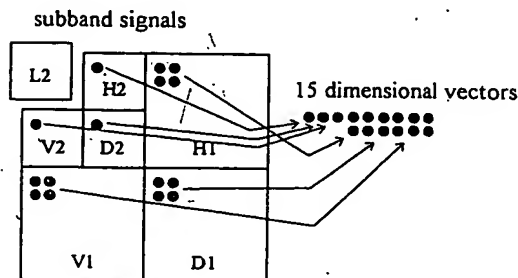


図7 全サブバンド形ベクトル構成
Fig.7 All subband type vector generation.

非常に強いので、他のサブバンドの信号サンプルと共にベクトルを構成することはせず、単独に図6に示す方法により2次元予測符号化(2D-DPCM)する。L2以外のサブバンド信号のベクトル構成法として、次の4種類が考えられる。2階層の場合を例にとり述べる。

(1) 全サブバンド形：図7に示すように、階層2のL2を除く三つのサブバンドのそれぞれ同一位置から1信号ずつ取り出した計3信号と、階層1の三つのサブバンドの、それぞれ階層2の信号位置に対応する位置の 2×2 信号ブロックを取り出した計12信号の、総計15信号で15次元ベクトルを構成する。これらの15信号は、原画像の対応する位置の 4×4 信号ブロックに対応する。これは階層間および階層内サブバンド間の信号の両方の相関を考慮した方式である[7]。

(2) 階層別形：階層2サブバンド信号による3次元ベクトルと階層1サブバンド信号による12次元ベクトルの2種類のベクトルを構成する[8]。これは階層ごとにサブバンド信号の性質が異なるので、階層ごとに異なったベクトル量子化を行おうとするものである。

(3) 方向別形：サブバンドの水平、垂直、対角の各方向別に、それぞれ階層間にまたがるベクトルを構成する[9]~[11]。

(4) サブバンド別形：サブバンドごとに別々のベクトルを構成する[6]。

本論文では(1)、(2)のベクトル構成法による符号

化特性の改善について検討する。

2.3 電力適応ベクトル量子化

画像信号は局所的に振幅の空間的変動が大きく異なっている場合が多い。L2を除くサブバンド画面は直流分をもたないので振幅の空間的変動は交流成分の電力、すなわち各ベクトル要素の電力の大きさに対応している。各ベクトルは原画像の1画素ブロックに対応するから、ベクトルの有する電力は画像の空間的局所性を表す。従ってベクトルの有する電力により各ベクトルをいくつかのクラスに分け、各クラスごとに異なるコードブックを作成、ベクトル量子化する、いわゆる電力適応ベクトル量子化 (Power adaptive-VQ; PAD-VQ) [12]を行えば、より良い符号化特性が得られると考えられる。

本論文ではベクトルのクラス数が2と3の場合について考え、電力の小さいクラスから順にそれぞれクラス0、クラス1、クラス2と名づける。このような少ないクラス数を用いる理由は、ベクトルのクラス指定インデックスのビット数を少数にとどめるためである。また符号化に際しては、クラス0に分類されたベクトルの要素、すなわちゼロを中心とし、正負の、あるしきい値以下の振幅の信号はカメラノイズのような画像ノイズを多く含み、また視覚上重要でない [3] ので切り捨てることとし、これを無効ベクトルと名づける。他方クラス1、2のベクトルは有効ベクトルと名づける。

3. 符号化の最適化とシミュレーション結果

本章では符号化ひずみを最小にする種々の最適化法を述べ、その特性をシミュレーション結果により示す。図4に示されている2階層、合計7個のサブバンド画面を用い、対象とする符号化ビットレートの範囲を0.32 ~ 0.85 ビット/画素 (bpp) とした。

最低周波サブバンド L2 では、2D-DPCM を用いるが、その予測誤差はゼロを中心とした正負対称なラプラス分布をなしているので、量子化レベル数が正負対称 17 レベルおよび 33 レベルのミッドトレッド (midtread) 形量子化をビットレートの低高に応じて選び、Lloyd-Max 量子化法 [13] で設計した。量子化代表値のインデックスに、ハフマン符号を用いてビットレートの低減を図った。

L2 以外のサブバンドのベクトル量子化用代表ベクトルのコードブックは LBG アルゴリズムと分割技法 [14] により作成した。

性能評価用画像は SIDBA 標準画像 GIRL (256 × 256, 8 bits/pixel), LENA (512 × 512, 8 bits/pixel) の 2 種を用い、コードブック作成のための学習画像には COUPLE, AERIAL (各 256 × 256, 8 bits/pixel), BARBARA, BOATS (各 512 × 512, 8 bits/pixel) の 4 画像を使用した。ベクトル量子化には最小平均 2 乗誤差ひずみ測度による全探索ベクトル量子化を用いた。符号化性能は次式で定義される PSNR (Peak-Signal-to-Noise Ratio) により評価した。

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(255)^2}{E[(x(m,n) - \hat{x}(m,n))^2]} \quad (1)$$

ここで $x(m,n)$ は原画像信号、 $\hat{x}(m,n)$ は再生画像信号、 (m,n) は画素の座標値である。

3.1 全サブバンド形ベクトルのベクトル量子化

3.1.1 ベクトルの電力によるクラス分けのしきい値と符号化ビットレートとの関係

全サブバンド形ベクトル構成の電力適応ベクトル量子化について述べる。符号化ビットレートは無効ベクトル数を増減することにより制御できる。これは無効ベクトルと有効ベクトル間の電力しきい値を変化させることによる。低ビットレートの符号化 (0.5 bpp 近傍) を行うときには、電力しきい値を大きくとる。学習ベクトルを3クラスに分類する場合、クラス1とクラス2の境界は両クラスのベクトル数が等しくなるように決める。従ってある範囲のビットレートにわたって最適な量子化をするためには、電力しきい値を複数個設定し、それぞれのしきい値について最適なコードブックを用意する必要がある。

符号化シミュレーションでは、コードブックはクラス数2の場合、学習画像のベクトルの有する電力の累積分布の 40, 50, 60, 70, 80% 点に対応する電力値をしきい値とした5種類の異なったコードブックを作成した。クラス数3の場合は、各しきい値以上のベクトルを個数が等しくなるようにクラス1、2に分類してコードブックを作成し、合計10種類のコードブックを用意した。そして各評価用画像では、ビットレートに応じ、全体のベクトル数に対する切り捨てるベクトル数の比率 $x\%$ ($x=50 \sim 80$) を指定し、それぞれのベクトル電力累積分布の $x\%$ 点の電力値に近いしきい値をもつコードブックを選択するようにした。図8に15次元ベクトル電力の学習画像と各評価用画像の累積

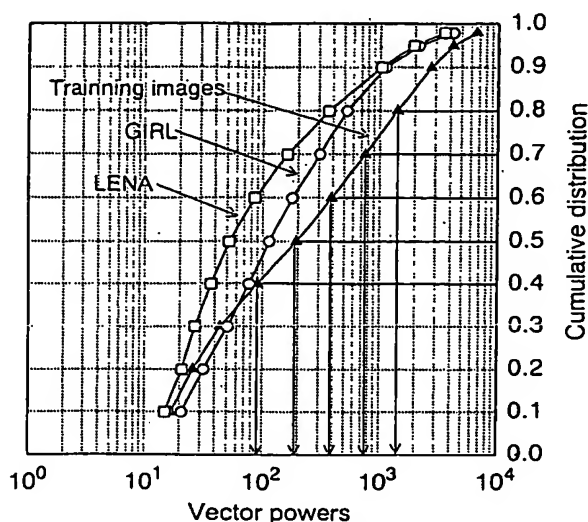


図8 全サブバンド形ベクトル電力の累積分布
Fig.8 Cumulative distribution of all subband type vector powers.

分布を示した。画像により、累積分布が大きく異なることがわかる。

符号化出力シーケンスは、最低周波サブバンド L2 の予測符号化出力シーケンス、その後に、適用コードブック識別のための符号 (3 ~ 4 ビット)、2 クラス分割ではブロックの有効・無効の識別用 1 ビット、有効ブロック内各ベクトルの有効・無効の識別用 1 ビットの符号シーケンス、3 クラス分割ではこれに有効ベクトルのクラス識別のための 1 ビットを加えた符号シーケンス、更にその後に続く有効ベクトルのベクトル量子化符号のインデックスのシーケンス、よりなっている。評価用画像の、無効ベクトル数の全ベクトル数に対する比率を 50% から 80% まで変化させた場合の符号化シミュレーション結果を図 9 に示す。L2 の量子化レベル数は 17 で、コードブック長はいずれも 9 ビットである。ウェーブレット変換は DCT に比べ、特定ベクトルへのエネルギー集中度がそれほど大きくないにもかかわらず、多くの小電力ベクトルを符号化対象から取り除いても PSNR が 31 dB 以上で視覚的にも良好な画像再生が可能であることが確認できる。

また図 9 に符号化特性の比較のため、電力適応しない場合の全サブバンド形ベクトルのベクトル量子化特性も示す。この場合ビットレートの制御はベクトル量子化のコードブック長を 5 ビットから 9 ビットまで変化させて行った。図から同程度の画質の再生画像を得るのに、電力適応により符号化ビットレートを 0.20 ~ 0.25 bpp 低減できることがわかる。更にクラス数の比

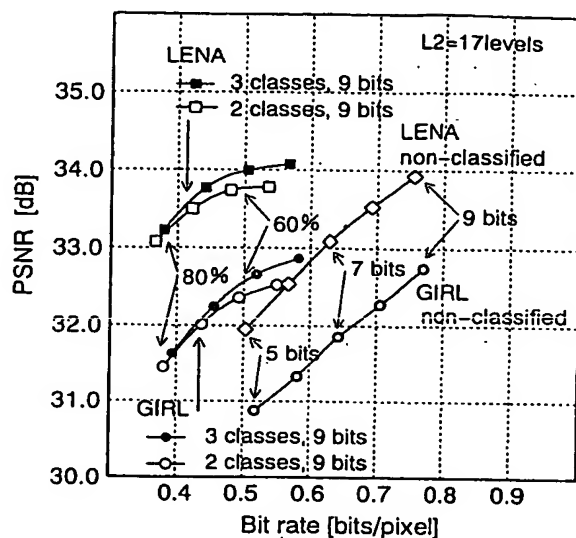


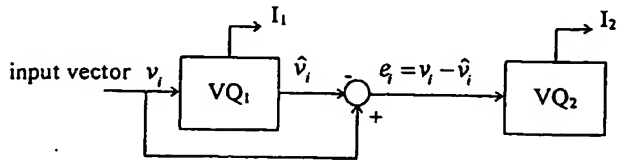
図9 全サブバンド形ベクトル量子化の符号化特性
Fig.9 Coding performance of all subband type vector quantization.

較では、3 クラスの方が、クラス識別ビット分所要ビットが増大したにもかかわらず、2 クラスより良好な特性を示している。特に、高ビットレートの場合に有効である。

3.1.2 符号化特性の改善

図 9 の符号化特性では、画像 LENA の場合ビットレートが 0.45 bpp を、GIRL の場合 0.50 bpp を超えると飽和する傾向を示している。これは L2 の 2D-DPCM の量子化ひずみまたは L2 以外のサブバンドの与えられたコードブック長におけるベクトル量子化ひずみの限界に近づいているせいであると考えられる。従ってこれを改善するには、前者についてはその量子化レベル数を増加させればよく、後者ではコードブック長を長くすればよい。後者の場合、そのようにすると符号化出力のビット量が増えるが、その増加は有効ベクトル数のみに比例する量であるから、結果として PSNR - bpp 特性は上昇する。しかしコードブック長を増大させると、コードブックのために必要なメモリ量が増大し、かつコードブック探索の計算量が指数関数的に大きくなるという難点がある。この難点を克服するにはコードブック長を長くしないで、ベクトル量子化器を多段に縦続接続すればよい [15]。

図 10 に 2 段縦続接続ベクトル量子化器を示す。有効ベクトルは最初、初段のベクトル量子化器に入力されて量子化され、入力ベクトルからその出力ベクトルを引いた残差ベクトルが、更に 2 段目のベクトル量子化



VQ₁: first stage vector quantizer.
VQ₂: second stage vector quantizer.
I₁, I₂: output vector index.

図10 2段階接続ベクトル量子化器
Fig.10 2-stage vector quantizer.

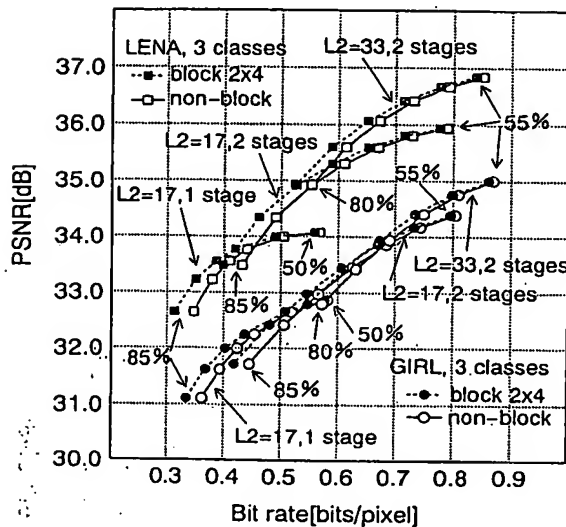


図11 全サブバンド形2段階ベクトル量子化の符号化特性
Fig.11 Coding performance of all subband type 2-stage vector quantization.

器で量子化される。初段のベクトル量子化器は1段構成のベクトル量子化と同一のものをを用いた。第2段のコードブックは、学習画像の初段の残差ベクトルを学習ベクトルとして作成した。図11にクラス数3の場合の符号化シミュレーション結果を前節1段階ベクトル量子化の場合と共に実線で示す。無効ベクトル数の全ベクトル数に対する比率を、L2の量子化レベル数が17で1段階ベクトル量子化の場合は50%から85%まで、2段階ベクトル量子化の場合55%から85%まで、L2=33で2段階ベクトル量子化の場合55%から80%まで変化した場合である。また各段のクラス1およびクラス2の量子化器のコードブック長は、ともに9ビットである。L2の量子化レベル数が17の2段階ベクトル量子化と1段階ベクトル量子化を比較すれば、明らかに前者の方がLENAの場合0.45 bpp以上で、GIRLの場合0.55 bpp以上で高いPSNRが得られている。更に高

ビットレートでは、L2の量子化レベルが33の場合にPSNRの著しい向上が見られる。

3.1.3 ベクトルのブロック単位の有効・無効判定

低ビットレートの画像符号化においては必然的に有効ベクトル数の割合が少なく、連続して無効ベクトルが発生する確率が高い。従って符号化ビットシーケンス中の、ベクトルの有効・無効情報ビットが無効である割合が高い。この場合に、有効・無効情報ビット数を削減するため、 $n \times m$ 個のベクトルブロックについて、ブロック内のすべてのベクトルが無効であれば、そのブロックは無効、それ以外は有効とし、ブロックの有効・無効情報を1ビットで表す。有効ブロック内では更に個々のベクトルの有効・無効をそれぞれ1ビットで表す。

本シミュレーションにおいてはブロックサイズが 2×2 、 2×4 および 4×4 の場合を比較し、 2×4 が最も良好であった。その場合のシミュレーション結果を図11に破線で示す。LENA, GIRLの両画像ともに無効ベクトル数の全ベクトル数に対する比率が55%のとき0.01 bpp、85%のとき0.03 bppと無効ベクトル数が増加するに従って、ビットレートが低減されている。

3.2 階層別形ベクトルのベクトル量子化

学習画像と各評価用画像の階層別ベクトルの電力累積分布を図12に示す。明らかに階層2と1では、その累積分布が異なっている。従って階層2と1で別々に2種類のベクトルを構成し、それぞれに異なったコードブックを作成、ベクトル量子化することは合理的であると考えられる。

この方法では、ベクトルの有効・無効識別用の符号シーケンスを短縮するため、階層間の相関を利用する。すなわち、階層2のベクトルが無効であるときは、対応する位置にある階層1のベクトルは大部分無効である、という関係を利用する。具体的にはクラス数2の場合、階層2、階層1の同一位置のベクトル対またはブロックについて、ベクトルの電力を同時に検査し、それぞれの対またはブロックの有効・無効を判定する。この判定結果の組合せは4種類あるが、これらの発生確率の違いにより、ハフマン符号を割り当てる。有効ブロック内では、更に個々のベクトルの有効・無効をそれぞれ1ビットで表す。これにより有効・無効識別符号のビットレートを、平均して1ベクトル当たり1ビット未満に低減できる。クラス数3の場合、それぞれの有効ベクトルに対し、更に1ビットのクラス識別ビットが必要である。

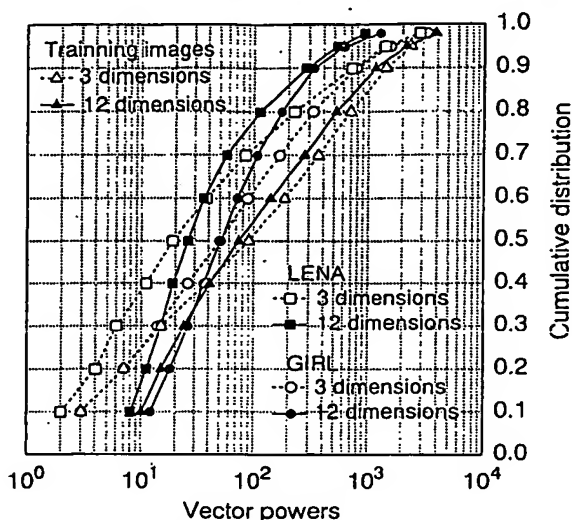


図12 階層別形ベクトル電力の累積分布
Fig.12 Cumulative distribution of level by level type vector powers.

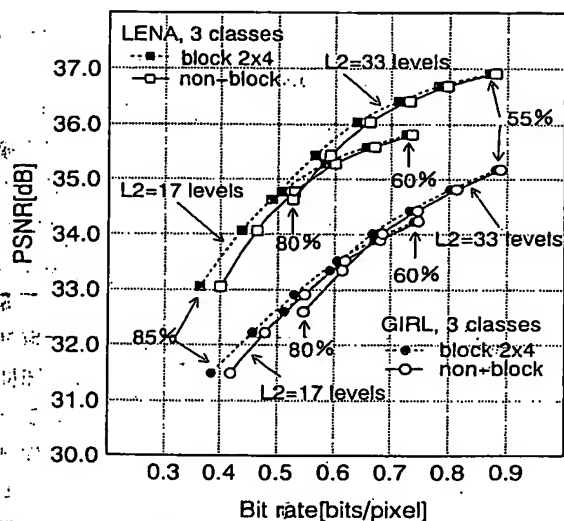


図13 階層別形ベクトル量子化の符号化特性
Fig.13 Coding performance of level by level type vector quantization.

符号化ビットレートの制御は符号化対象画像のクラス0の無効ベクトル数により行う。サブバンド信号の再構成画像に対する寄与量は階層2の方が階層1より大きいと考えられるため、階層1の無効ベクトル数は階層2の無効ベクトルの数より約10%多くする。コードブックは、学習画像のベクトルの有する電力の累積分布により、各階層ごとにその分布の40, 50, 60, 70%に対応する電力値を有効・無効のしきい値とし、クラスタ数が3の場合に、全サブバンド形と同様各しきい値以上のベクトルを個数で2等分し、各階層当り8種

類のコードブックを作成した。コードブック長はすべて9ビットである。図13に符号化特性を示す。符号化対象画像の階層2の無効ベクトル数を、L2の量子化レベル数が17の場合は60%から85%まで、33の場合は55%から80%まで変化させた場合である。また有効・無効をベクトル対で判定したとき実線、ブロックで判定したとき破線で示してある。このときのブロックサイズは最も効果のあった 2×4 である。ブロック判定の効果はLENA, GIRLの両画像ともにL2=33レベルのとき、階層2の無効ベクトル数が55%で0.01 bpp, 80%で0.03 bpp改善され、L2=17レベルでは、階層2の無効ベクトル数が60%で0.01 bpp, 85%で0.03 bpp改善されている。符号化特性は前節の2段ベクトル量子化とほぼ等しい特性を示している。

3.3 全サブバンド形と階層別形ベクトル量子化の比較

比較のため図14に画像LENAに対する全サブバンド形と階層別形ベクトル量子化の符号化特性を示す。図より明かなように、ビットレート0.4 bpp以上の符号化では両方式はほぼ同程度の符号化特性を示している。しかしビットレート0.4 bpp以下では、全サブバンド形1段ベクトル量子化方式の特性が上回っている。これは、このような低ビットレートの符号化では2段ベクトル量子化および階層別ベクトル量子化により量子化精度を向上させても、それらは全サブバンド形1段に比べベクトル数が2倍であるため、無効ベクトル数の割合をより多くしなければならず、結果としてPSNRを改善できないことを示している。

次に0.4 bpp以上における全サブバンド形2段方式と階層別形方式の所要メモリ量およびコードブック探索の計算量を比較する。全サブバンド形2段方式では、各段における入力ベクトル数とコードブック長が等しいので、全サブバンド形1段方式に比べ所要メモリ量および計算量はともに2倍になる。一方階層別形方式の場合は、入力ベクトル数は全サブバンド形に比べほぼ2倍と多くなるが、ベクトルの次元数が階層1, 階層2を合計して全サブバンド形と同量となるので所要メモリ量および計算量はともに全サブバンド形1段方式とほぼ同量である。

このような理由から実用的には、0.4 bpp以上のビットレートでは階層別形ベクトル量子化方式の方が全サブバンド形2段方式より有利である。

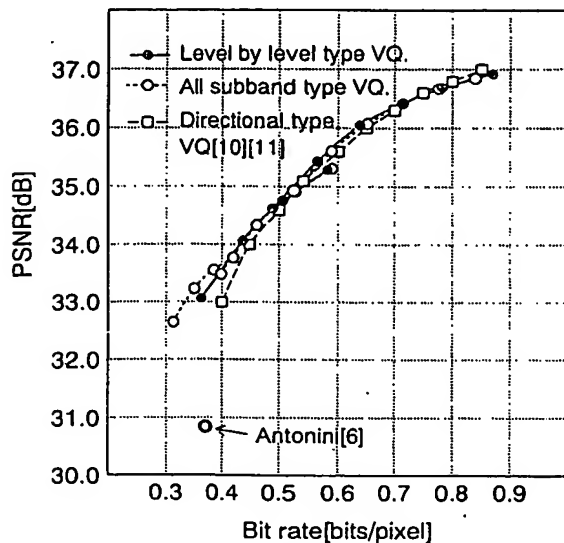


図 14 LENA に対する符号化特性の比較
Fig. 14 Comparison of coding performance for LENA.

3.4 他のベクトル構成方式と全サブバンド形および階層別ベクトル構成方式の比較とその適用範囲

画像 LENA について、2.2 で述べた他のベクトル構成方式と全サブバンド形および階層別ベクトル構成方式との比較を $PSNR$ 評価により行う。図 14 にサブバンドの方向別にグループを形成し、それぞれベクトル量子化した方式 [10], [11] および Antonini のサブバンド別ベクトル量子化方式 [6] の特性を併記する。方向別形との比較では、本方式は 0.4 bpp の低ビットレートで 0.6 dB $PSNR$ が高く、0.5 bpp 以上のビットレートではほぼ等しい性能を有する。またサブバンド別形では、0.37 bpp で 30.85 dB であるのに対し、本方式の階層別形では 0.36 bpp で 33.06 dB、全サブバンド形 1 段では 0.35 bpp で 33.23 dB と $PSNR$ が高い。従って本方式の方が、ビットレート 0.32 ~ 0.85 bpp の範囲に適用するときに、より良い符号化特性が得られることが判明した。

4. む す び

画像の 2 階層ウェーブレット変換・ベクトル量子化について、ベクトル構成方式を検討し、その中の全サブバンド形と階層別形をとり上げ、符号化の最適化を行った。得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) ベクトルをその電力により 2 ~ 3 クラスに分け、電力に適応したベクトル量子化を行う方式は高い符号化性能を示す。クラス数は、3 がよい。

(2) 最小電力のクラスに属するベクトルの電力をゼロに置き換え、その個数の全ベクトル数に対する比率が 50 ~ 80% と高くても、再構成画像の画質への影響が比較的小さい。

(3) 全サブバンド形と階層別形を比較すると、前者は 2 段ベクトル量子化を要するが後者は 1 段でよい。256 × 256, 512 × 512 の画像に対し、0.4 bpp 以上では両者の符号化特性はほぼ同等であるが、コードブックの所要メモリ量、コードブック探索の計算量は後者が少ない。0.4 bpp 以下ではベクトル数の少ない全サブバンド形 1 段量子化が符号化特性がよい。

今後に残された問題として、本 2 方式のより以上の性能改善のために、(1) 最低周波サブバンド L2 の予測誤差の低減と、予測誤差のより高効率の無損失圧縮、(2) ベクトルの電力によるクラス数を 4 以上とした場合の検討、が挙げられる。

謝辞 本論文は文部省科研費 (C) 06450406 および kk 鐘紡より研究費の補助を受けた。

文 献

- [1] 相沢清晴, 原島 博, 宮川 洋, “画像信号の適応的離散コサイン変換ベクトル量子化,” 信学論 (B), vol. J69-B, no. 3, pp. 228-236, March 1986.
- [2] J.W. Woods and S.D. O'Neil, “Subband coding of images,” IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Process., vol. ASSP-34, no. 5, pp. 1278-1288, Oct. 1986.
- [3] H. Gharavi and A. Tabatabai, “Sub-band coding of monochrome and color images,” IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. CAS-35, no. 2, pp. 207-214, Feb. 1988.
- [4] P.H. Westerink, D.E. Boeke, J. Biemond, and J.W. Woods, “Subband coding of images using vector quantization,” IEEE Trans. Commun., vol. COM-36, no. 6, pp. 713-719, June 1988.
- [5] S.G. Mallat, “A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation,” IEEE Trans. Pattern Anal. and Machine Intell., vol. PAMI-11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [6] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, “Image coding using wavelet transform,” IEEE Trans. Image Process., vol. IP-1, no. 2, pp. 205-220, April 1992.
- [7] 松村秀逸, 加藤道明, 武部 幹, “画像のウェーブレット変換・全階層形ベクトル量子化法の最適化,” 第 18 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA95) 予稿集, vol. 2, pp. 679-682, Oct. 1995.
- [8] 松村秀逸, 加藤道明, 武部 幹, “ウェーブレット変換画像のサブバンド階層・電力クラス別ベクトル量子化法,” 第 10 回画像符号化シンポジウム (PCSJ95) 資料, 6-3, pp. 121-122, Oct. 1995.
- [9] 中澤 武, 阿部淑人, 佐々木重信, 菊池久和, 渡辺弘道, “多重解像度ベクトル量子化による静止画像圧縮,” 信学技報, IE95-17, May 1995.

- [10] 加藤道明, 松村秀逸, 武部 幹, “ウェーブレット変換画像の方向別ベクトル量子化,” 情報処理学会第 51 回全国大会予稿集, Sept. 1995.
- [11] 加藤道明, 松村秀逸, 武部 幹, “ウェーブレット変換画像の方向別ベクトル量子化,” 平成 7 年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, Sept. 1995.
- [12] 江尻 悟, 橋本秀雄, 武部 幹, “ブロック適応ベクトル量子化を用いた画像のサブバンド符号化,” 第 8 回デジタル信号処理シンポジウム講演論文集, J5.2, pp.223-229, Oct. 1993.
- [13] S.P. Lloyd, “Least squares quantization in PCM”, IEEE Trans. Inform. Theory, vol.IT-28, no.2, pp.129-137, March 1982.
- [14] Y. Linde, A. Buzo, and R.M. Gray, “An algorithm for vector quantizer design,” IEEE Trans. Commun., vol.COM-28, no.1, pp.84-95, Jan. 1980.
- [15] R.M. Gray, “Vector Quantization,” IEEE ASSP Magazine, pp.4-29, April 1984.

(平成 8 年 2 月 21 日受付, 6 月 18 日再受付)



橋本 秀雄 (正員)

昭 50 阪大大学院博士課程了。同年日本電信電話公社 (現 NTT) に入社。電気通信研究所において画像通信方式, 符号化方式の研究・実用化に従事。平 5 より金沢大・工・電気・情報工学科教授。工博。



武部 幹 (正員)

昭 23 金沢工専・電気通信卒。昭 25 電電公社電気通信研究所入所。昭 37 金沢大・工・電気助教授。昭 43 同教授。平 6 金沢工大・情報工学科教授。工博。デジタルフィルタ, SC フィルタ, 適応等化器, 画像符号化等の研究に従事。共著「スイッチド・キャパシタ回路」。著書「デジタルフィルタの設計」など。本会著述賞, 論文賞受賞。IEEE, 情報処理学会, テレビ学会, 情報理論とその応用学会各会員。



松村 秀逸 (正員)

昭 43 金沢大大学院修士課程了。同年より金沢工大。平 8 より金沢高専・工・電気教授。現在に至る。デジタル信号処理, 画像符号化の研究に従事。



加藤 道明 (准員)

昭 61 金沢工大・情報工卒。同年関西日本電気 (株) 入社。情報処理システムの設計・開発等に従事。平 6 金沢工科大学院修士課程入学。画像符号化の研究に従事。



江尻 悟 (正員)

平 6 金沢大大学院修士課程了。同年日本電気 (株) 入社。画像通信分野の開発に従事。在学中フィルタバンク, 画像のサブバンド符号化の研究に従事。

複写をされる方に

本誌に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。そこで、本著作物を合法的に複写するには、著作権者から複写に関する権利の委託を受けている次の団体と、複写をする人またはその人が所属する企業・団体等との間で、包括的な許諾契約を結ぶようにして下さい。

学協会著作権協議会 〒107 東京都港区赤坂9-6-41 社団法人日本工学会内
Phone 03-3475-4621 Fax 03-3403-1738

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication legally, you or your organization needs to obtain permission from the following organization that has been delegated for the copyright clearance by the copyright owner of this publication.

[Japan] The Copyright Council of the Academic Societies
41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107, Japan
Phone +81-3-3475-4621 Telefax +81-3-3403-1738

[U.S.A.] Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA
Phone (508) 750-8400 Telefax (508) 750-4744

平成9年1月20日 印刷
平成9年1月25日 発行 電子情報通信学会論文誌(J80-D-II)第1号
IEICE Trans. D-II © (社) 電子情報通信学会 1997

編集兼発行者 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館 社団法人 電子情報通信学会 田村 恵一
印刷者 東京都荒川区西日暮里5-9-8 三美印刷株式会社 山岡 景仁

発行所 社団法人 電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ

〒105 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館内 電話 (03) 3433-6691(代)・振替 00120-0-35300

広告一手取扱所 〒106 東京都港区東麻布1-4-2 朗生ビル内 (株) 廣和堂 電話 (03) 3584-6791(代)

本誌に掲載された論文等の著作権は(社)電子情報通信学会に帰属します。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☒ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.